

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2023

Читать  
онлайн  
Read  
online

Толкач П.Г., Башарин В.А., Шилов Ю.В., Язенок А.В., Антушевич А.Е.,  
Загородников Г.Г.

## Токсиколого-гигиеническая оценка современных теплоизоляционных полимерных материалов при термическом воздействии

ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, 194044,  
Санкт-Петербург, Россия

**Введение.** Пенополиэтилен и синтетический вспененный каучук применяют для теплоизоляции коммуникаций при температурах не выше плюс 90 и плюс 105 °С соответственно. Данных о том, как будут вести себя эти материалы в соответствующих температурных режимах, в доступной литературе обнаружить не удалось.

**Цель исследования** заключалась в проведении токсиколого-гигиенической оценки трубок из пенополиэтилена и синтетического вспененного каучука в условиях термического воздействия.

**Материалы и методы.** Термическое воздействие на исследуемые образцы моделировали в климатической камере. Определяли промежуток времени, в течение которого происходила потеря массы образцов, проводили санитарно-химическое исследование газовой смеси в климатической камере. Для проведения токсиколого-гигиенического исследования у животных вырабатывали условный рефлекс активного избегания (УРАИ) плаванием.

**Результаты.** Установили, что при термическом воздействии на трубку из пенополиэтилена (плюс 90 °С) в течение 72 ч происходила потеря 0,77% массы образца от исходной. Термическое воздействие (плюс 105 °С) на трубку из синтетического вспененного каучука приводило к потере 15,3% массы образца от исходной в течение 108 ч, при этом определили выраженные изменения внешнего вида образца. При проведении санитарно-химического исследования в климатической камере определили увеличение концентрации монооксида углерода через 12; 24 и 72 ч и хлороводорода через 12 и 24 ч после начала термического воздействия на образец из пенополиэтилена по сравнению со значениями их среднесуточной предельно допустимой концентрации (ПДКсс). Термическое воздействие на образец из синтетического вспененного каучука приводило к увеличению в климатической камере концентрации аммиака, монооксида углерода и хлороводорода через 12 и 24 ч после начала воздействия по сравнению со значением их ПДКсс. При проведении токсиколого-гигиенического исследования выявили нарушения обучаемости у животных при воздействии продуктов термодеструкции исследуемых образцов.

**Ограничения исследования** обусловлены методологией проводимого исследования. Выполнили количественный анализ некоторых газообразных продуктов термодеструкции, высвободившихся в климатическую камеру, без учёта образующихся аэрозолей.

**Заключение.** Теплоизоляционные материалы, выполненные из синтетического вспененного каучука и пенополиэтилена, теряют свои структурные свойства при их эксплуатации в максимально допустимых температурных режимах (плюс 105 и плюс 90 °С соответственно). При их использовании в указанных температурных режимах образуются токсичные продукты, ингаляционное воздействие которых приводит к нарушению обучаемости лабораторных животных.

**Ключевые слова:** пенополиэтилен; синтетический вспененный каучук; термодеструкция; санитарно-химическое исследование; токсиколого-гигиеническое исследование; климатическая камера

**Соблюдение этических стандартов.** Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации. В работе руководствовались требованиями нормативно-правовых актов о порядке экспериментальной работы с использованием животных, в том числе по гуманному отношению к ним.

**Для цитирования:** Толкач П.Г., Башарин В.А., Шилов Ю.В., Язенок А.В., Антушевич А.Е., Загородников Г.Г. Токсиколого-гигиеническая оценка современных теплоизоляционных полимерных материалов при термическом воздействии. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(7): 726–731. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-7-726-731> <https://elibrary.ru/onarkk>

**Для корреспонденции:** Толкач Павел Геннадьевич, доктор мед. наук, преподаватель каф. военной токсикологии и медицинской защиты ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, 194044, Санкт-Петербург. E-mail: [pgtolkach@gmail.com](mailto:pgtolkach@gmail.com)

**Участие авторов:** Толкач П.Г. — концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, статистическая обработка, написание текста; Башарин В.А. — концепция и дизайн исследования, редактирование; Шилов Ю.В. — сбор материала и обработка данных, написание текста; Язенок А.В., Антушевич А.Е., Загородников Г.Г. — редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 06.03.2023 / Принята к печати: 07.06.2023 / Опубликована: 30.08.2023

Pavel G. Tolkach, Vadim A. Basharin, Yurii V. Shilov, Arkadii V. Yazenok, Alexandr E. Antushevich, Gennadii G. Zagorodnikov

## Toxicological and hygienic assessment of modern thermo-insulating polymer materials during thermal exposure

Military Medical Academy named after S.M. Kirov of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Saint Petersburg, 194044, Russian Federation

**Introduction.** Polyethylene and synthetic foam caoutchouc are used for thermal insulation of communications, at temperatures not exceeding 90 °C and 105 °C, respectively. Data on how these materials will behave in the appropriate temperature conditions was not be found.

**The purpose of the study** was to conduct a toxicological and hygienic assessment of products made of polyethylene foam and synthetic foam rubber under thermal exposure.

**Materials and methods.** The thermal effect on the studied samples was modelled in a climate chamber. The time interval during the mass loss of the samples was determined, a sanitary and chemical study of the gas-air mixture in the climatic chamber was carried out. To conduct a toxicological and hygienic study in animals, a swim-escape conditioned active avoidance response was developed.

**Results.** Under thermal (90 °C) exposure for 72 hours to polyethylene tube, a loss of 0.77% of the initial mass of the sample occurs. Thermal exposure (105 °C) to synthetic foam caoutchouc resulted in a loss of 15.3% of the initial mass of the sample for 108 hours, while pronounced changes in the appearance of the samples were determined. When conducting a sanitary and chemical study in the climate chamber, an increase in the concentration of carbon monoxide was determined after 12, 24, and 72 hours and hydrogen chloride after 12 and 24 hours following the onset of thermal exposure compared with the values of their average daily maximum permissible concentration. Thermal exposure to the sample and synthetic foam caoutchouc led to an increase in the concentration of ammonia, carbon monoxide and hydrogen chloride 12 and 24 hours after the start of exposure compared with the average daily maximum permissible concentration. During the toxicological and hygienic study, animals exposed to thermal degradation products of the materials under study were revealed to show learning disabilities.

**Limitations.** They are conditioned by the methodology of the study. A quantitative analysis of some gaseous thermal degradation products released into the climate chamber was performed, without taking into account the aerosols formed.

**Conclusion.** Thermal insulation materials made of synthetic foam rubber and polyethylene foam lose their structural properties when they are operated in the maximum permissible temperature conditions (105 °C and 90 °C, respectively). When they are used in appropriate temperature conditions, the formation of toxic products occurs, the inhalation effect of which leads to a disturbances of the learning ability in laboratory animals.

**Keywords:** polyethylene foam; synthetic foam caoutchouc; thermal degradation; sanitary and chemical research; toxicological and hygienic research; climate chamber

**Compliance with ethical standards.** The Local ethics committee of the Military Medical Academy named after S.M. Kirov. The work was guided by the requirements of regulatory legal acts on the procedure for experimental work using animals, including humane treatment of them.

**For citation:** Tolkach P.G., Basharin V.A., Shilov Yu.V., Yazenok A.V., Antushevich A.E., Zagorodnikov G.G. Toxicological and hygienic assessment of modern thermo-insulating polymer materials during thermal exposure. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(7): 726–731. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-7-726-731> <https://elibrary.ru/onarkk> (In Russ.)

**For correspondence:** Pavel G. Tolkach, MD, PhD, DSci, lecturer of the department military toxicology and medical protection of the Military Medical Academy named after S.M. Kirov, Saint-Petersburg, 194044, Russian Federation. E-mail: [pgtolkach@gmail.com](mailto:pgtolkach@gmail.com)

**Information about the author:** Tolkach P.G., <https://orcid.org/0000-0001-5013-2923>

**Contribution:** Tolkach P.G. – the concept and design of the study, collection and processing of material, statistical processing, writing a text; Basharin V.A. – the concept and design of the study, editing; Shilov Yu.V. – collection and processing of material; Yazenok A.V., Antushevich A.E., Zagorodnikov G.G. – editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgement.** The study had no sponsorship.

Received: March 6, 2023 / Accepted: June 7, 2023 / Published: August 30, 2023

### Введение

В современном мире темпы строительства неуклонно растут. В качестве отдельного элемента в структуре строительства следует выделить коммуникации, включающие в себя системы водоснабжения и водоотведения (трубопроводы). При локализации объекта строительства в климатических зонах, которым свойственны низкие температуры, возникает необходимость в теплоизоляции коммуникаций. Затраты на теплоизоляцию коммуникаций составляют около 5–8% от всех затрат на данные системы. Для теплоизоляции трубопроводов наиболее часто используют изделия из пенополиуретана, пенополиизоцианурата, пенополиэтилена и синтетического вспененного каучука [1].

Синтетический вспененный каучук рассчитан для применения в интервале температур от минус 50 до плюс 105 °C, при этом некоторые материалы, выполненные из синтетического вспененного каучука, могут быть использованы при температуре до плюс 150 °C [1, 2]. Изделия из пенополиэтилена используют в интервале температур от минус 50 до плюс 90 °C [3]. Пенополиэтилен и синтетический вспенен-

ный каучук – это полимерные материалы, которые подвергаются различным видам деструкции вследствие воздействия на них химических, физических и (или) биологических факторов. Отдельно следует выделить термическую деструкцию, в результате которой происходят разрывы химических связей в полимере, уменьшение молекулярной массы, потеря заданных свойств и образование токсичных газообразных продуктов и аэрозолей [4].

Согласно данным литературы, при температуре выше плюс 290 °C происходит термодеструкция пенополиэтилена с образованием продуктов меньшей молекулярной массы (монооксид углерода, этан, пропан, бутен, бутан, пентан и др.). Термическая деструкция некоторых видов синтетических каучуков, например, бутадиен-нитриллакрилового каучука, происходит при температуре плюс 310–400 °C, и в составе продуктов термодеструкции определяют монооксид углерода, диоксид углерода, цианистый водород и др. [5].

Безусловно, в трубопроводах зданий температуры не достигают тех значений, при которых происходит термодеструкция представленных теплоизоляционных материалов. Однако данных литературы о том, как ведут себя изделия из

пенополиэтилена и синтетического вспененного каучука в температурных режимах, соответствующих максимальным допустимым значениям (плюс 90 °С для пенополиэтилена и плюс 105 °С для синтетического вспененного каучука), в доступной литературе обнаружить не удалось.

Таким образом, *цель исследования* заключалась в проведении токсиколого-гигиенической оценки трубок из пенополиэтилена и синтетического вспененного каучука при термическом воздействии.

## Материалы и методы

Исследование биологической активности изучаемых полимеров выполнили в климатической камере, что позволило создать воздушную среду с качественными и количественными характеристиками химического загрязнения, характерного для соответствующих реальных условий эксплуатации.

В исследовании использовали теплоизоляционные материалы: трубку из синтетического вспененного каучука (образец № 1), трубку из пенополиэтилена (образец № 2). Работа выполнена в соответствии с Методическими указаниями (МУ 2.1.2.1829–04)<sup>1</sup>. Термическое воздействие моделировали в климатической камере объёмом 1 м<sup>3</sup>, в которой находилась муфельная печь, позволяющая равномерно разогревать исследуемый материал, и секция для размещения лабораторных животных. Насыщенность составила 1 м<sup>2</sup>/1 м<sup>3</sup>, кратность воздухообмена – 20 л/мин. Исследуемые материалы помещали в муфельную печь с предустановленной температурой (плюс 90 °С для трубки из пенополиэтилена и плюс 105 °С для трубки из синтетического вспененного каучука).

На первом этапе исследования определяли промежуток времени, в течение которого происходило снижение массы исследуемых материалов. Для этого осуществляли взвешивание [весы лабораторные ВЛ 220 С (ЛОМО, Россия)] навесок образцов каждые 12 ч после начала термического воздействия, через 120 ч проводили макроскопическое обследование образцов, выполняли фотофиксацию.

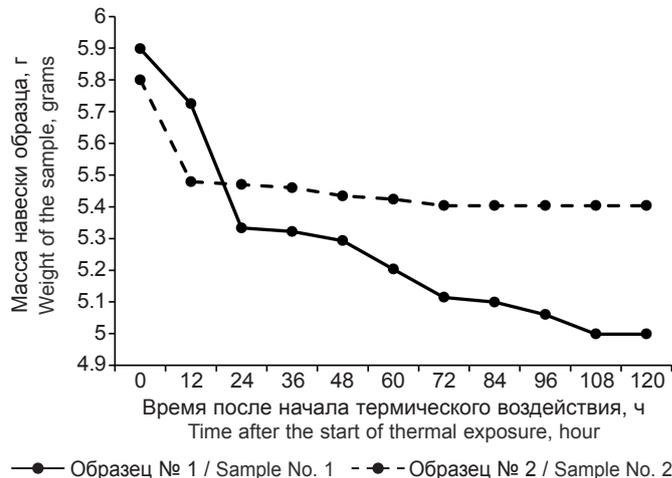
На втором этапе исследования выполнили санитарно-химическую оценку исследуемых образцов. Осуществляли анализ газовой смеси [портативный газоанализатор ГАНК (ООО «НПО «ПРИБОР» ГАНК», Россия)] в климатической камере через 12; 24 и 120 ч после начала термического воздействия на трубку из синтетического вспененного каучука и через 12; 24 и 72 ч после начала термического воздействия на трубку из пенополиэтилена. Результаты санитарно-химического исследования оценивали путём сопоставления их с ПДКсс, установленными гигиеническими нормативами в атмосферном воздухе населённых мест<sup>2</sup>. Выбор сроков анализа проб газовой смеси в климатической камере (120 и 72 ч) был обусловлен тем, что в течение этого времени происходило снижение массы образцов № 1 и № 2 при моделировании термического воздействия.

На третьем этапе проводили токсиколого-гигиеническое исследование для выявления возможного неблагоприятного действия на организм лабораторных животных (крысы-самцы) веществ, выделяющихся из исследуемых образцов в результате термического воздействия. В работе руководствовались требованиями нормативно-правовых актов о порядке экспериментальной работы с использованием животных, в том числе по гуманному отношению к ним<sup>3</sup>. Выведение

<sup>1</sup> Санитарно-гигиеническая оценка полимерных и полимеросодержащих строительных материалов и конструкций, предназначенных для применения в строительстве жилых, общественных и промышленных зданий: Методические указания. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004.

<sup>2</sup> Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

<sup>3</sup> Директива 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях. СПб.: Rus-LASA; 2012.



**Рис. 1.** Динамика массы навески образцов в различные сроки термического воздействия, г. Наибольшую потерю массы навески образца № 1 выявили в течение первых 36 ч после начала термического воздействия, образца № 2 – в течение 24 ч. Потеря массы навески образца № 1 происходила в течение 108 ч, а образца № 2 – в течение 72 ч после начала термического воздействия.

**Fig. 1.** Trends in the weight of the samples over different periods of the thermal exposure. The greatest weight loss of sample No. 1 was detected during the first 36 hours after the start of thermal exposure, sample No. 2 – for 24 hours. The weight loss of the sample No. 1 attachment occurred within 108 hours, and sample No. 2 – within 72 hours after the onset of thermal exposure.

животных из эксперимента осуществляли путём передозировки раствора золетила (Virbak, Франция). Животных подразделили на группы: контроль 1 – крысы находились в климатической камере в течение 120 ч и дышали атмосферным воздухом; контроль 2 – крысы находились в климатической камере в течение 72 ч и дышали атмосферным воздухом; интоксикация 1 – крыс подвергали динамической ингаляционной интоксикации продуктами термодеструкции (плюс 105 °С) трубки из синтетического вспененного каучука в течение 120 ч; интоксикация 2 – крыс подвергали динамической ингаляционной интоксикации продуктами термодеструкции (плюс 90 °С) трубки из пенополиэтилена в течение 72 ч. После окончания ингаляционного воздействия животных извлекали из климатической камеры, и они дышали атмосферным воздухом.

Для оценки обучаемости через 168 ч (седьмые сутки) после окончания ингаляционного воздействия у животных выработывали УРАИ плаванием (обучение проводили один раз в день в течение пяти дней), определяли латентный период активного избегания, сравнивали с аналогичными показателями животных контрольных групп [6].

Статистическую обработку полученных экспериментальных данных проводили при помощи программы Statistica 10.0. Описание данных, распределение которых было отличным от нормального, осуществляли при помощи медианы (*Me*), первого (*Q<sub>1</sub>*) и третьего (*Q<sub>3</sub>*) квартилей. Анализ независимых групп выполняли при помощи *U*-критерия Манна – Уитни. О статистической значимости различий между группами судили при уровне  $p < 0,05$  [7].

## Результаты

На первом этапе исследования установили, что термическое воздействие приводило к уменьшению массы навесок исследуемых образцов. Наибольшую потерю массы навески образца № 1 выявили в течение первых 36 ч после начала термического воздействия, образца № 2 – в течение 24 ч.



**Рис. 2.** Макропрепараты трубок из синтетического вспененного каучука (образец № 1): *а* – исходный образец; *б* – образец через 120 ч после начала термического воздействия (снижение массы на 15,3% от исходной). Макропрепараты трубок из пенополиэтилена (образец № 2): *в* – исходный образец; *г* – через 120 ч после начала термического воздействия (снижение массы на 0,77% от исходной). Макрофотография. При проведении макроскопического исследования выявили нарушение эластичности образца № 1, снижение его прочности при механической деформации. При исследовании образца № 2 определили выраженные изменения внешнего вида.

**Fig. 2.** Macro-preparations of tubes made of synthetic foam caoutchouc (sample No. 1): *a* – is the initial sample; *б* – is the sample 120 hours after the start of thermal exposure (weight reduction by 15.3% from the original). Macro-preparations of tubes made of polyethylene foam (sample No. 2): *в* – is the initial sample; *г* – is a 120 hours after the start of thermal exposure (weight reduction by 0.77% from the original). Macrophotography. A macroscopic examination revealed a violation of the elasticity of sample No. 1, a decrease in its strength during mechanical deformation. During the examination of sample No. 2, pronounced changes in appearance were determined.

При этом потеря массы навески образца № 1 происходила в течение 108 ч, а образца № 2 – в течение 72 ч после начала термического воздействия (рис. 1).

Установили, что термическое воздействие на образец № 1 приводило к потере 15,3% массы от исходной, а термическое воздействие на образец № 2 – к потере 0,77% массы от исходной. При проведении макроскопического исследования выявили нарушение эластичности образца № 1, снижение

его прочности при механической деформации (рис. 2, б). При исследовании образца № 2 определили выраженные изменения внешнего вида (рис. 2, г).

На втором этапе исследования навеску образца № 1 (масса навески – 23,5485 г) подвергали термическому воздействию (температура плюс 105 °С). Через 12 ч после начала воздействия в климатической камере выявили превышение значения ПДКсс аммиака (12,9 мг/м<sup>3</sup>), монооксида угле-

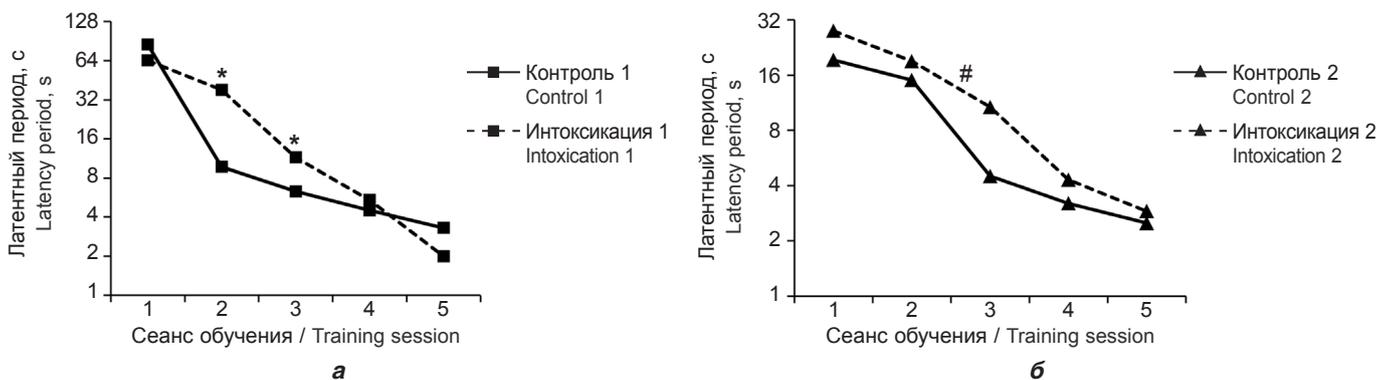
**Результаты санитарно-химической оценки трубок из синтетического вспененного каучука (образец № 1) и пенополиэтилена (образец № 2), мг/м<sup>3</sup>**

**Results of sanitary and chemical evaluation of tubes made of synthetic foam caoutchouc (sample No. 1) and polyethylene foam (sample No. 2), mg/m<sup>3</sup>**

Исследуемое вещество The substance under study	ПДКсс* МРСад*	Исследуемый образец, № / The test sample, No.					
		1			2		
		время после начала термического воздействия, ч / time after the start of thermal exposure, h					
		12	24	120	12	24	72
Аммиак / Ammonia	0.1	12.9	1.64	0.089	0.015	0.003	0.002
Диоксид азота / Dioxide nitrogen	0.04	4 · 10 <sup>-3</sup>	3 · 10 <sup>-3</sup>	2 · 10 <sup>-3</sup>	X	X	X
Диоксид углерода / Dioxide carbon	9 · 10 <sup>3</sup>	1.15 · 10 <sup>3</sup>	0.88 · 10 <sup>3</sup>	0.93 · 10 <sup>3</sup>	0.82 · 10 <sup>3</sup>	0.94 · 10 <sup>3</sup>	0.79 · 10 <sup>3</sup>
Монооксид азота / Monoxide nitrogen	0.06	0.015	0.011	0.008	0.006	0.001	X
Монооксид углерода / Carbon monoxide	3.0	3.64	3.76	2.14	3.52	8.65	4.13
Фтороводород / Hydrogen fluoride	1.4 · 10 <sup>-3</sup>	6 · 10 <sup>-4</sup>	1.3 · 10 <sup>-3</sup>	1 · 10 <sup>-4</sup>	7 · 10 <sup>-4</sup>	6 · 10 <sup>-4</sup>	1 · 10 <sup>-4</sup>
Фтор / Fluorine	5 · 10 <sup>-3</sup>	0.8 · 10 <sup>-3</sup>	0.9 · 10 <sup>-3</sup>	0.5 · 10 <sup>-3</sup>	4.9 · 10 <sup>-3</sup>	4.5 · 10 <sup>-3</sup>	6.8 · 10 <sup>-4</sup>
Хлор / Chlorine	0.03	0.007	0.003	0.002	0.001	X	X
Хлороводород / Hydrogen chloride	0.02	0.28	0.043	0.01	0.237	0.282	0.019
Цианистый водород / Hydrogen cyanide	0.01	X	X	X	X	X	X
Кислород, % / Oxygen, %	–	20.95	20.96	20.98	20.94	20.89	20.76
Температура, °С / Temperature, °С	–	29.8	30.1	29.6	23.2	20.1	22.9
Влажность, % / Humidity, %	–	31.9	25.7	32.1	29.3	39.2	37.6
Запах воздушной среды, балл The smell of the air environment, score	–	4	3	2	2	2	1

Примечание. X – вещество не обнаружено; ПДКсс – среднесуточная предельно допустимая концентрация.

Note: X – no substance detected; МРСад – average daily maximum permissible concentration.



**Рис. 3.** Латентный период активного избегания плаванием: а – через 168 ч (7 сут) после окончания воздействия продуктов термодеструкции трубки из синтетического вспененного каучука (образец № 1); б – через 168 ч (7 сут) после окончания воздействия продуктов термодеструкции трубки из пенополиэтилена (образец № 2) с, Ме.

\* – различия значимы по сравнению с контролем 1,  $p < 0,05$ ; # – различия значимы по сравнению с контролем 2,  $p < 0,05$ ; число животных в каждой группе ( $n = 6$ ). Воздействие на крыс продуктов термодеструкции образца № 1 приводило к увеличению ( $p < 0,05$ ) длительности латентного периода активного избегания плаванием на втором и третьем сеансе обучения по сравнению с контролем (а). У животных, подвергшихся воздействию продуктов термодеструкции образца № 2, определили увеличение ( $p < 0,05$ ) длительности латентного периода активного избегания плаванием на третьем сеансе обучения по сравнению с контролем (б).

**Fig. 3.** Swim-escape conditioned active avoidance response: а – is from 168 h (7 days) after the end of exposure to the products of thermal degradation of a tube made of synthetic foam caoutchouc (sample No. 1); б – is from 168 h (7 days) after the end of exposure to the products of thermal degradation of a tube made of polyethylene foam (sample No 2) seconds, Median.

\* – differences are significant compared to control 1,  $p < 0.05$ ; # – differences are significant compared to control 2,  $p < 0.05$ ; in each group  $n = 6$ . Exposure of rats to thermal degradation products of sample No. 1 led to an increase ( $p < 0.05$ ) in the duration of the Swim-escape conditioned active avoidance response at the second and third training sessions, compared with control (a). In animals exposed to thermal degradation products of sample No. 2, an increase ( $p < 0.05$ ) in the duration of Swim-escape conditioned active avoidance response swimming in the third training session, compared to the control (b).

рода (3,64 мг/м<sup>3</sup>) и хлороводорода (0,28 мг/м<sup>3</sup>). Через 24 ч после начала воздействия концентрации аммиака, монооксида углерода и хлороводорода в климатической камере были выше значения их ПДКсс (1,64; 3,76 и 0,043 мг/м<sup>3</sup> соответственно). Через 120 ч после начала термического воздействия содержание исследуемых веществ в климатической камере не превышало значения их ПДКсс. Содержание кислорода в климатической камере в течение всего эксперимента значимо не изменялось (20,95–20,98%), температура составила плюс 29,6–30,1 °С, влажность воздуха – 25,7–32,1%. При проведении субъективного анализа определили, что запах газовой смеси в климатической камере составил 4 балла через 12 ч после начала воздействия, 3 балла через 24 ч после начала воздействия и 2 балла через 120 ч после начала воздействия (см. таблицу).

Масса навески образца № 1 по окончании термического воздействия составила 20,5835 г. Таким образом, определили, что в результате термического воздействия 2,965 г исследуемого материала (12,6% от исходной массы навески образца) высвободилось в атмосферу климатической камеры.

Образец № 2 (масса навески 20,5650 г) подвергали термическому воздействию (температура плюс 90 °С). Через 12 ч после начала воздействия в климатической камере выявили превышение значения ПДКсс монооксида углерода (3,52 мг/м<sup>3</sup>) и хлороводорода (0,237 мг/м<sup>3</sup>). Через 24 ч после начала воздействия концентрации монооксида углерода и хлороводорода в климатической камере были выше значения их ПДКсс (8,65 и 0,282 мг/м<sup>3</sup> соответственно). Через 72 ч после начала воздействия концентрация монооксида углерода оставалась повышенной (4,13 мг/м<sup>3</sup>), содержание остальных исследуемых веществ в климатической камере не превышало значений их ПДКсс. Концентрация кислорода в климатической камере в течение всего эксперимента значимо не изменялась (20,76–20,94%), температура составила плюс 20,1–23,2 °С, влажность воздуха – 29,3–39,2%. При проведении субъективного анализа определили, что запах газовой смеси в климатической камере составил

2 балла через 12 и 24 ч после начала воздействия и 1 балл через 72 ч после начала воздействия (см. таблицу).

Масса навески образца № 2 по окончании термического воздействия составила 20,3795 г. Таким образом, определили, что в результате термического воздействия 0,1855 г исследуемого материала (0,9% от исходной массы навески образца) выделилось в атмосферу климатической камеры.

На третьем этапе исследования у крыс вырабатывали УРАИ плаванием. Выявили, что воздействие на крыс продуктов термодеструкции образца № 1 (группа *интоксикация 1*) приводило к увеличению ( $p < 0,05$ ) длительности латентного периода активного избегания плаванием на втором и третьем сеансе обучения по сравнению с животными группы *контроль 1* (рис. 3), что свидетельствует о нарушении выработки УРАИ плаванием. У животных, подвергшихся воздействию продуктов термодеструкции образца № 2 (группа *интоксикация 2*), определили увеличение ( $p < 0,05$ ) длительности латентного периода активного избегания плаванием на третьем сеансе обучения по сравнению с животными группы *контроль 2* (см. рис. 3), что свидетельствует о нарушении выработки УРАИ плаванием.

## Обсуждение

В результате выполненного исследования было выявлено, что длительное (120 и 72 ч) термическое воздействие (плюс 105 и плюс 90 °С) на трубки из синтетического вспененного каучука и пенополиэтилена соответственно привело к снижению их массы и изменению внешнего вида вследствие модификации структуры полимеров с выделением в атмосферу климатической камеры аэрозолей и газообразных веществ [3].

При анализе состава газовой смеси, образующейся при термическом воздействии на трубку из синтетического вспененного каучука, в атмосфере климатической камеры определили аммиак, концентрация которого была в 130 раз выше по сравнению со значением его ПДКсс через

12 ч и в 16 раз выше через 24 ч после начала термического воздействия. Также выявили превышение концентрации монооксида углерода (на 21 и 25% по сравнению со значением его ПДКсс) и хлороводорода (в 10 и 2 раза по сравнению со значением его ПДКсс) через 12 и 24 ч соответственно после начала термического воздействия. Исследуемый образец представляет собой композицию на основе бутадиен-нитрилакрилового синтетического каучука. Согласно данным литературы, термическое воздействие (до плюс 220 °С) на такие полимеры приводит к термохимическим изменениям, сопровождающимся поглощением кислорода и выделением монооксида углерода, диоксида углерода, воды и аммиака [8], с чем связано выявленное увеличение концентрации монооксида углерода и аммиака в атмосфере климатической камеры. По-видимому, включение в состав исследуемого образца каких-либо хлорсодержащих добавок, например, антипиренов, приводило к протеканию реакции дегидрохлорирования, обусловленной термическим воздействием, и высвобождению хлороводорода в атмосферу климатической камеры [9].

При анализе состава газовой смеси, образующейся при термическом воздействии на трубку из пенополиэтилена, в атмосфере климатической камеры определили монооксид углерода, концентрация которого была выше значения его ПДКсс на 17% через 12 ч и в 2 раза выше через 24 ч после начала термического воздействия. Также выявили превышение концентрации хлороводорода (на 50 и 40% по сравнению со значением его ПДКсс) через 12 и 24 ч соответственно после начала термического воздействия. Согласно данным литературы, элементарный состав продуктов термодеструкции вспененного полиэтилена близок к эмпирической формуле  $(\text{C}_2\text{H}_2)_n$  [5]. Обнаруженные в составе газовой смеси аммиак и хлороводород могли образоваться в результате термического воздействия на хлор- и азотсодержащие добавки, входящие в состав исследуемого полимера.

Таким образом, в результате проведённого санитарно-химического исследования было выявлено, что термическое воздействие на трубку из синтетического вспененного каучука приводило к образованию веществ пульмонотоксического (хлороводород, аммиак) и общеядовитого (моно-

оксид углерода) действия в концентрациях, превышающих значения их ПДКсс, а термическое воздействие на трубку из вспененного полиэтилена способствовало формированию веществ пульмонотоксического (хлороводород) и общеядовитого (монооксид углерода) действия в концентрациях, превышающих значения их ПДКсс.

Для оценки влияния газозвуковых смесей, содержащих данные токсиканты, на функции ЦНС лабораторных животных было выполнено токсиколого-гигиеническое исследование. Выбор экспозиции был обусловлен временем, в течение которого происходило снижение массы исследуемых образцов, обусловленное термическим воздействием (120 ч для трубки из синтетического вспененного каучука и 72 ч для трубки из пенополиэтилена).

Выбор срока начала выработки УРАИ плавлением (на 7-е сутки после окончания воздействия) был связан с некоторыми особенностями влияния холинергической системы на процессы воспроизведения энграммы [10]. Выявили нарушения выработки УРАИ плавлением у крыс при воздействии продуктов, образующихся при термическом воздействии на трубки из исследуемых материалов, что свидетельствует о нарушении обучаемости животных в постинтоксикационном периоде [6]. Данные нарушения могут быть связаны с опосредованным нейротоксическим действием монооксида углерода [11] и нейротоксическим действием аммиака.

## Заключение

В проведённом экспериментальном исследовании было продемонстрировано, что широко используемые в современном строительстве теплоизоляционные материалы (синтетический вспененный каучук и пенополиэтилен) теряют свои структурные свойства при их эксплуатации в максимально допустимых температурных режимах (плюс 105 и плюс 90 °С соответственно). При этом образуются токсичные продукты, ингаляционное воздействие которых приводит к нарушению обучаемости лабораторных животных. Экспериментальные исследования по токсиколого-гигиенической оценке теплоизоляционных и других строительных материалов необходимы для обеспечения безопасности населения в условиях их постоянного использования.

## Литература (п.п. 10, 11 см. References)

1. Кошельникова В.В. Анализ применения современных теплоизоляционных материалов в системах теплоснабжения. В кн.: *Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке. Сборник статей по материалам LVII международной научно-практической конференции. Том 9*. Новосибирск; 2020: 13–9. <https://elibrary.ru/zpqanj>
2. Павлов М.В., Карпов Д.Ф., Березина В.П. Современные теплоизоляционные материалы для повышения теплосберегающих свойств ограждающих конструкций зданий и энергоэффективности инженерных систем. *Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газозенергоснабжения*. 2020; (1): 81–7. <https://elibrary.ru/oktxck>
3. Чабанный А.Н. Энергосберегающие технологии. *Научные исследования*. 2016; (9): 7–11. <https://elibrary.ru/wxgxtl>
4. Толкач П.Г., Башарин В.А., Чепур С.В., Венгерович Н.Г., Юдин М.А., Никифоров А.С. и др. *Токсикология продуктов горения полимерных материалов*. СПб.: Левша, Санкт-Петербург; 2022. <https://elibrary.ru/wjxuda>
5. Мадорский С.Л. *Термическое разложение органических полимеров*. Пер. с англ. Мир; 1964.
6. Буреш Я., Бурешова О., Хьюстон Д.П. *Методики и основные эксперименты по изучению мозга и поведения*. Пер. с англ. М.: Высшая школа; 1991.
7. Гланц С. *Медико-биологическая статистика*. Пер. с англ. М.: Практика; 1998.
8. Кнунянц И.Л. *Химическая энциклопедия. Том 3*. М.: Большая Российская энциклопедия; 1992.
9. Потапов П.К., Димитриев Ю.В., Толкач П.Г. Структурно-функциональные нарушения дыхательной системы у лабораторных животных при интоксикации продуктами пиролиза хлорсодержащих полимерных материалов. *Медицинский академический журнал*. 2020; 20(3): 13–22. <https://doi.org/10.17816/MAJ35170> <https://elibrary.ru/anhui>

## References

1. Koshel'nikova V.V. Analysis of application of modern thermal insulation materials in heat supply systems. In: *Experimental and Theoretical Research in Modern Science. Collection of Articles Based on the Materials of the LVII International Scientific and Practical Conference. Volume 9* [Eksperimental'nye i teoreticheskie issledovaniya v sovremennoy nauke. Sbornik statey po materialam LVII mezhduнародnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Tom 9]. Novosibirsk; 2020: 13–9. <https://elibrary.ru/zpqanj> (in Russian)
2. Pavlov M.V., Karpov D.F., Berezina V.P. Modern thermal insulation materials for improving the thermal protection properties of building structures and energy efficiency of engineering systems. *Nauchno-tekhnicheskie problemy sovershenstvovaniya i razvitiya sistem gazozenergosnabzheniya*. 2020; (1): 81–7. <https://elibrary.ru/oktxck> (in Russian)
3. Chabanny A.N. Energy-saving technologies. *Nauchnye issledovaniya*. 2016; (9): 7–11. <https://elibrary.ru/wxgxtl> (in Russian)
4. Tolkach P.G., Basharin V.A., Chepur S.V., Vengerovich N.G., Yudin M.A., Nikiforov A.S., et al. *Toxicology of Combustion Products of Polymeric Materials* [Toksikologiya produktov goreniya polimernykh materialov]. St. Petersburg: Levsha, Sankt-Peterburg; 2022. <https://elibrary.ru/wjxuda> (in Russian)
5. Madorsky S.L. *Thermal Degradation of Organic Polymers*. John Wiley & Sons; 1964.
6. Buresh J., Bureshova O. *Techniques and Basic Experiments for the Study of Brain and Behavior*. Elsevier; 1983.
7. Glantz S.A. *Primer of Biostatistics*. New-York: McGraw-Hill; 1994.
8. Knunyants I.L. *Chemical Encyclopedia: Volume 3* [Khimicheskaya entsiklopediya. Tom 3]. Moscow: Bol'shaya Rossiyskaya entsiklopediya; 1992. (in Russian)
9. Potapov P.K., Dimitriev Yu.V., Tolkach P.G. Structural and functional disorders of the respiratory system in laboratory animals when intoxicated by pyrolysis products of chlorine-containing polymer materials. *Meditsinskiy akademicheskiy zhurnal*. 2020; 20(3): 13–22. <https://doi.org/10.17816/MAJ35170> <https://elibrary.ru/anhui> (in Russian)
10. Deutsch J.A. The cholinergic synapse and the site of memory. *Science*. 1971; 174(4011): 788–94. <https://doi.org/10.1126/science.174.4011.788>
11. Pepe G., Castelli M., Nazerian P., Vanni I., Panta M., Gambassi F., et al. Delayed neuropsychological sequelae after carbon monoxide poisoning: predictive risk factors in the Emergency Department. A retrospective study. *Scand. J. Trauma Resusc. Emerg. Med.* 2011; 19: 16. <https://doi.org/10.1186/1757-7241-19-16>